

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2003017420 A

(43) Date of publication of application: 17.01.03

(51) Int. Cl

**H01L 21/205**

**H01S 5/323**

(21) Application number: 2001203956

(71) Applicant: NICHIA CHEM IND LTD

(22) Date of filing: 04.07.01

(72) Inventor: KAWANO KENJI

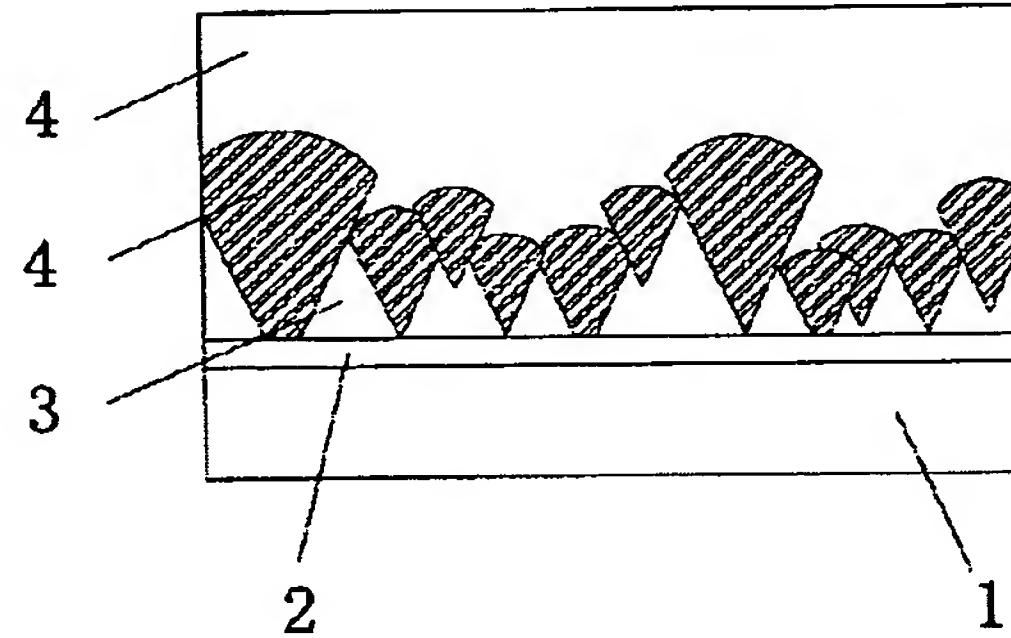
**(54) GALLIUM NITRIDE COMPOUND  
SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND METHOD  
OF MANUFACTURING THE SAME**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a gallium nitride chemical semiconductor substrate which requires no device process, such as a lateral growth when growing a gallium nitride chemical semiconductor layer thereon, and which has a uniform low defect region.

**SOLUTION:** A method of manufacturing the gallium nitride compound semiconductor substrate comprises growing of a first gallium nitride chemical semiconductor layer having the Si-doping concentration of  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  or higher, and growing a second gallium nitride compound semiconductor layer, which is undoped or has a Si-doping concentration of  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  or lower, on the first gallium nitride compound semiconductor layer.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
H 01 L 21/205		H 01 L 21/205	5 F 0 4 5
H 01 S 5/323	6 1 0	H 01 S 5/323	6 1 0 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2001-203956(P2001-203956)

(71)出願人 000226057

(22)出願日 平成13年7月4日 (2001.7.4)

日亜化学工業株式会社  
徳島県阿南市上中町岡491番地100(72)発明者 川野 審二  
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
学工業株式会社内

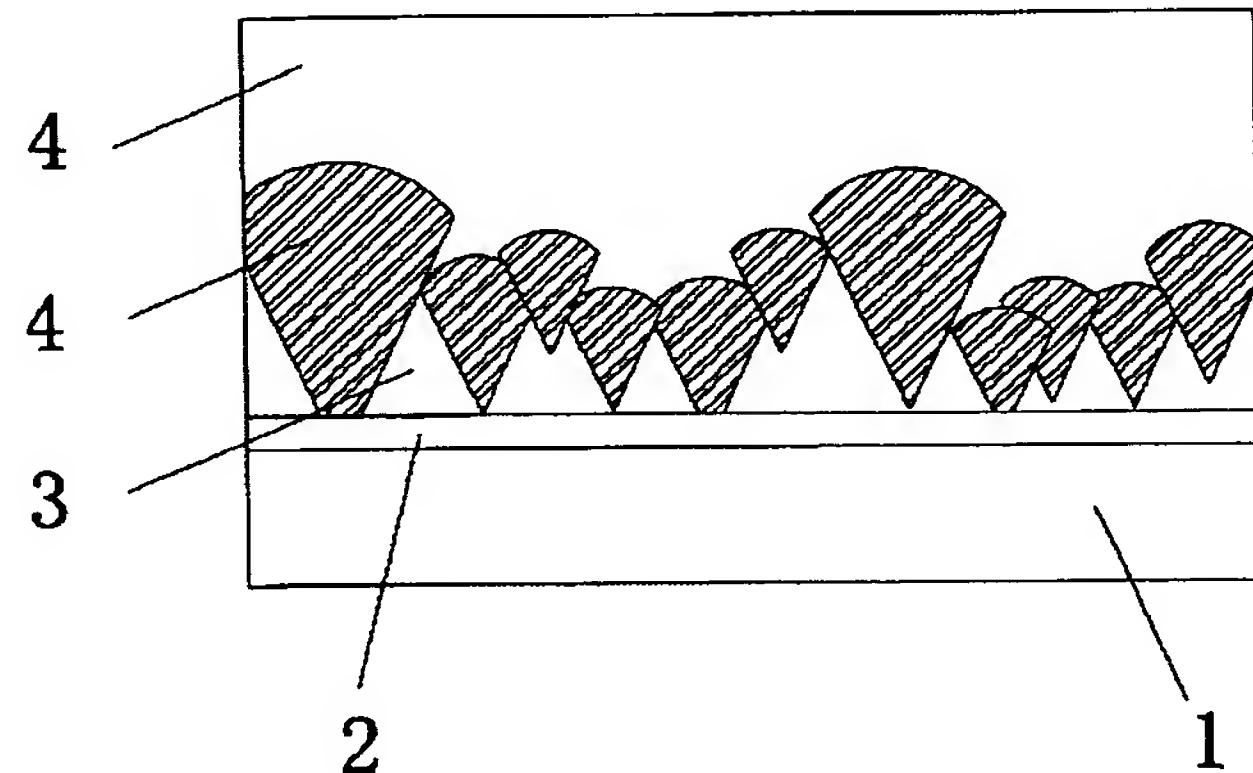
最終頁に続く

(54)【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体基板、及びその製造方法

## (57)【要約】

【課題】基板への窒化ガリウム系化合物半導体層の成長において、横方向成長等のデバイス工程を無くし、さらに低欠陥領域を均一に有する窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供する。

【解決手段】窒化ガリウム系化合物半導体基板の成長方法であって、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層と、該第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されたノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層と、該第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されたノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下であり、貫通転位密度が $1 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層と、を備えることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体基板。

【請求項2】 前記第2の窒化ガリウム系化合物半導体層の貫通転位密度が $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以下である請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板。

【請求項3】 前記第1、及び/又は第2の窒化ガリウム系化合物半導体層は、窒化ガリウムからなる請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板。

【請求項4】 前記第1、及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を積層した基板上に、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第3の窒化ガリウム系化合物半導体層と、該第3の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第4の窒化ガリウム系化合物半導体層とを備える請求項1乃至3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板。

【請求項5】 基板上に気相成長法により窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させることにより形成される窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法において、基板上にSiのドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第1の工程と、第1の工程後、該第1の層上にノンドープ、又はSiのドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第2の工程とを備えることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項6】 前記第1の工程において、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなる下地層を介して第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項7】 前記第1、及び/又は第2の窒化ガリウム系化合物半導体層は、窒化ガリウムからなる請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項8】 前記第2の工程後、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第3の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第3の工程と、第3の工程後、該第3の窒化ガリウム系化合物半導体層上にSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第4の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第4の工程とを備えることを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項9】 前記Siドーピングの原料にはシラン系化合物を用いる請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半

導体基板の製造方法。

【請求項10】 前記シラン系化合物はSiH<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、SiHCl<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>、SiH<sub>3</sub>Cl<sub>1</sub>、SiCl<sub>4</sub>から成る群から選ばれる少なくとも1つである請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項11】 前記気相成長法はハロゲン輸送法による気相成長法である請求項5又は8に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項12】 前記基板は、サファイア、炭化珪素、スピネル、又はシリコンであることを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

【請求項13】 基板上に気相成長法により窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させることにより形成される窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法において、基板上にハロゲン輸送法による気相成長法によりSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第1の工程と、

20 第1の工程後、該第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上にSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第2の工程とを有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体基板、及びその製造方法であって、特に貫通転位密度を低減したn型導電性を有する窒化ガリウム系化合物半導体基板に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウム系化合物半導体は、発光波長が400nm付近の短波長領域であるため、紫外から緑色までの発光光源とすることができます、半導体レーザダイオードとして用いた場合、従来の赤色レーザダイオードに比べて数倍の大容量メディアの再生装置、又は記憶装置として使用可能となる。さらに電界効果トランジスタ(FET)のような電子デバイスへの応用も期待されている。

40 【0003】 このような窒化ガリウム系化合物半導体デバイスを作成するには、バルク単結晶の窒化ガリウムや窒化ガリウム系化合物半導体のホモエピタキシャル成長が可能な基板が望まれるが、このような基板等の作成は窒素の蒸気圧が高いために困難である。そのため、サファイアや炭化珪素、スピネル等の基板上に窒化ガリウム系化合物半導体をヘテロエピタキシャル成長させる。この窒化物半導体基板を基板として窒化ガリウム系化合物半導体を成長させている。

【0004】 基板と、基板上に積層される窒化ガリウム系化合物半導体との格子定数差が大きければ、基板上に

積層される窒化ガリウム系化合物半導体層に貫通転位が発生する。この貫通転位が多ければリーク電流が増大し、半導体レーザダイオード等の発光素子において大幅に寿命特性を低下させることになる。サファイア等の基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を成長させる場合、バッファー層を介することにより、貫通転位を低減させることができる。例えば、特開平7-202265号公報、特開平7-165498号公報にはZnOから成るバッファー層が報告されている。その他に、AlNやGaNバッファー層もあるものの、貫通転位密度は、 $10^8$ 個/ $\text{cm}^2$ ～ $10^{10}$ 個/ $\text{cm}^2$ 程度である。このようなバッファー層を介して基板上に成長させた窒化ガリウム系化合物半導体を素子とする半導体レーザダイオードや高出力発光ダイオードでは長時間の連続発振は期待できない。

【0005】そのため、より貫通転位密度を低減できる効果を有するELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法が報告されている。このELO法とは、化合物半導体の横方向成長を利用した転位の低減方法である。例えば、下地層である窒化ガリウム系化合物半導体上に、開口部（窓部）を有する保護膜を例えばストライプ形状や島状に形成する。次に、この保護膜の開口部より露出した下地層の窒化ガリウム系化合物半導体を核として窒化ガリウム系化合物半導体を成長させる。下地層を核として成長させる窒化ガリウム系化合物半導体は開口部から縦方向に成長後、横方向にも成長する。この横方向成長とは、核からの連続成長であり保護膜上において横方向に成長するものである。これより貫通転位は窒化ガリウム系化合物半導体と同様に縦方向だけでなく横方向にも成長する。そのため、この横方向成長した貫通転位は、保護膜上で隣り合う核から成長した窒化ガリウム系化合物半導体同士が接合する接合部に集中する。そのため、保護膜の開口部、及び保護膜上の接合部には貫通転位は集中するものの、これらの領域を除いた横方向成長領域の表面には、低転位領域を形成することができる。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記に示すELO法では保護膜のパターン形成等の工程が多く、効率よく量産するのは困難である。さらに、ELO法では保護膜に開口部を設け、その開口部から露出した窒化ガリウム系化合物半導体を核として窒化ガリウム系化合物半導体を成長させるため、横方向成長領域には、低転位領域が得られるものの、開口部である窓部上部、及び保護膜上の窒化ガリウム系化合物半導体同士の接合部には転位が多く集中する。そのため、表面に低転位領域が均一となる基板を提供することは困難であり、低転位領域内に選択的にリッジストライプを形成しなければならない。よって、反りを有するウェハー上ではリッジストライプを形成するフォトリソ工程で歩留まりを低下させてしまう。その他に、ELO法で得られる窒化ガリウム系化合物半導体層に貫通転位が発生する。この貫通転位が多ければリーク電流が増大し、半導体レーザダイオード等の発光素子において大幅に寿命特性を低下させることになる。サファイア等の基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を成長させる場合、バッファー層を介することにより、貫通転位を低減させることができる。例えば、特開平7-202265号公報、特開平7-165498号公報にはZnOから成るバッファー層が報告されている。その他に、AlNやGaNバッファー層もあるものの、貫通転位密度は、 $10^8$ 個/ $\text{cm}^2$ ～ $10^{10}$ 個/ $\text{cm}^2$ 程度である。このようなバッファー層を介して基板上に成長させた窒化ガリウム系化合物半導体を素子とする半導体レーザダイオードや高出力発光ダイオードでは長時間の連続発振は期待できない。

10

導体基板は絶縁性の異種基板を有するものが主流であり、例えばサファイア基板上に窒化物半導体を形成したものである。そのため、放熱性が悪く高出力での長時間の連続発振は困難である。また、サファイア基板は絶縁性であるため、n型電極、p型電極を表面上に形成しなければならず、素子を成長させた後に段差を形成する工程が必要となる。これは対極面に電極を形成した素子と比較してチップ面積の節減にも不利である。また、サファイア基板にはヘキサゴン性がないため、チップの分離にはダイシング工程が必要となりコスト高をまねく。

【0007】本発明の課題は、窒化ガリウム系化合物半導体基板表面に低転位領域を均等かつ広範囲で得ることである。また、異種基板を除去したn型低抵抗単体基板とすることで、量産効率を向上させた窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することである。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体基板は、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層と、該第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されたノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層と、を備えることを特徴とする。

【0009】本発明における窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法は、基板上に気相成長法により窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させることにより形成される窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法において、基板上にSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第1の工程と、第1の工程後、該第1の層上にSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する第2の工程とを備えることを特徴とする。

【0010】このようにSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上であるSiリッチ層と、このSiリッチ層上にSiドーピング濃度がノンドープ、又は $1 \times 10^{19}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以下であるSiプラー層を成長させる構成とすれば、転位の低減ができる。ここで、Siプラー層とはSiのノンドープも含むものとする。以下に転位の低減ができる理由を示す。Siリッチ層では、Siがドナーとしてだけではなく、コンタミナントとして成長層に作用する。そのためSi、又はその化合物の不純物濃度の高い部位の成長が遅れることになる。つまり、基板上に成長させる窒化ガリウム系化合物半導体は成長速度差を有する面内分布となる。その結果、表面全体において成長速度の速い部分では選択的に核が生成され、窒化ガリウム系化合物半導体の表面に窒化ガリウム系化合物半導体の島の成長が起こる。次に成長させるSiプラー層では、前記窒化ガリウム系化合物半導体の島同士での合体が促進される。これは成長速度が速い結晶粒が隣接

40

ドナーとしてだけではなく、コンタミナントとして成長層に作用する。そのためSi、又はその化合物の不純物濃度の高い部位の成長が遅れることになる。つまり、基板上に成長させる窒化ガリウム系化合物半導体は成長速度差を有する面内分布となる。その結果、表面全体において成長速度の速い部分では選択的に核が生成され、窒化ガリウム系化合物半導体の表面に窒化ガリウム系化合物半導体の島の成長が起こる。次に成長させるSiプラー層では、前記窒化ガリウム系化合物半導体の島同士での合体が促進される。これは成長速度が速い結晶粒が隣接

50

する結晶粒を覆うように成長するためである。ここで、前記窒化ガリウム系化合物半導体の島は基板と窒化ガリウム系化合物半導体との成長界面から伸びた貫通転位を有するものである。この貫通転位は島が成長することにより、縦方向に伸びるだけでなく、島の表面が斜面形状であるため、成長面である斜面に対して垂直に伸びることとなる。そのため、島が成長し、隣接する島同士で合体する過程で貫通転位は屈曲し貫通転位同士がループを形成することとなる。そのため、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層での縦方向以外に伸びた貫通転位は第2の窒化ガリウム系化合物半導体層内において、ループを形成し、低減させることができる。さらに、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層はSiドーピング濃度を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上とすれば島同士の間隔をより大きく形成することができるため第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させた時に転位をより低減させることができる。より好ましくは第1の窒化ガリウム系化合物半導体層のSiドーピング濃度を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以上とする。また、第2の窒化ガリウム系化合物半導体層はSiドーピング濃度を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とすれば、移動度を向上することができ、さらに好ましくはSiドーピング濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とする。具体的には、前記窒化ガリウム系化合物半導体基板にバッファーレー層を介し、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させ、その上に成長させる第2の窒化ガリウム系化合物半導体層で貫通転位を低減させる。バッファーレー層を有するのみでは、貫通転位は単位面積あたり $1 \times 10^8 \text{ 個} / \text{cm}^2 \sim 1 \times 10^{10} \text{ 個} / \text{cm}^2$ 程度であるが、上記構成により前記第2の窒化ガリウム系化合物半導体層の表面での貫通転位密度を均一に低減させることができ、 $1 \times 10^8 \text{ 個} / \text{cm}^2$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^6 \text{ 個} / \text{cm}^2$ 以下とすることができる。

【0011】さらに、第2の窒化ガリウム系化合物半導体層上に、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第3の窒化ガリウム系化合物半導体層と、該第3の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されたノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第4の窒化ガリウム系化合物半導体層と、を備えることを特徴とする。

【0012】このように、Siリッチ層とSiプラー層とを成長させる構成を2回以上繰り返せば、さらに貫通転位同士がループを形成することにより、転位を低減させることができる。また、ハロゲン輸送法による気相成長法により厚膜成長をした場合には、サファイア等の異種基板を研削やレーザ照射により除去した窒化ガリウム系化合物半導体層のみから成る単体基板を形成することができる。そのため、サファイア基板のような絶縁体上に成長させた窒化物半導体基板であっても基板除去すること、及びSiリッチ層は高濃度でSiをドープすることで低抵抗のn型基板とすることができますため、電極を

対極構造とすることが可能となる。ここで、異種基板の除去工程は窒化物半導体素子の成長前であっても、窒化物半導体素子の成長後であってもよい。

【0013】また、前記窒化ガリウム系化合物半導体基板における第1、及び/又は第2の窒化ガリウム系化合物半導体層は、一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ 、 $0 \leq Y < 1$ 、 $0 \leq X + Y < 1$ ) で示すことができる。さらに、GaNであれば2段階成長後の表面においてピットを少なくできる効果を有する。

【0014】また、Siドーピングの原料にはシラン系化合物を用いる。このシラン系化合物は $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiH}_3\text{Cl}$ 、 $\text{SiCl}_4$ から成る群から選ばれる少なくとも1つである。これらの原料を用いれば、Siまたはそれらの化合物がコンタミナントだけではなく、効率よくドーパントにもなるため好ましい。

【0015】前記第1の窒化ガリウム系化合物半導体は例えばサファイアのような異種基板上に直接成長させるのであれば、格子定数や熱膨張係数の違いから転位密度は多くなる。そのため、下地層であるバッファーレー層を介することにより基板上に直接に窒化ガリウム系化合物半導体層を形成するよりも結晶性をより向上させることができる。具体的には、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ 、 $0 \leq Y < 1$ 、 $0 \leq X + Y < 1$ ) で示すことができ、 $700^\circ\text{C}$ 以下の低温成長で形成する。この下地層のみを介して成長させた窒化ガリウム系化合物半導体は単位面積あたりの貫通転位が $10^8 \sim 10^{10}$ 個/ $\text{cm}^2$ となる。そのため、下地層の上にSiリッチ層とSiプラー層とを成長させることにより、より結晶性の良好な窒化物半導体基板を形成することができる。

【0016】前記窒化ガリウム系化合物半導体基板の気相成長法としてはハロゲン輸送法による気相成長法、有機金属気相成長法、分子線エピタキシー法等がある。ハロゲン輸送法による気相成長法は成長速度が速いため、厚膜成長させることができ好ましい。また、薄膜で低欠陥化を実現するには横方向成長を制御しやすい有機金属気相成長法、分子線エピタキシー法などの他の気相成長法を用いても良い。

【0017】また、窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法において、基板には、サファイア、炭化珪素、スピネル、又はシリコン等が挙げられる。これらは、窒化ガリウム系化合物半導体をエピタキシャル成長させることができ、また成長温度に対して耐熱性を有するものである。さらに、窒化ガリウム系化合物半導体層を積層後、研削や電磁波照射等による基板の剥離除去を可能とし、これにより窒化ガリウム系化合物半導体からなる単体基板を形成することができる。本発明においては、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層をSiリッチ層とするため、基板除去面をn型窒化物半導体層とすることができる。そのため、貫通転位を低減した結晶性の

よい窒化物単体基板において、電極を対極形成した窒化ガリウム系化合物半導体レーザ、または発光ダイオードを提供することができる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体基板は、Siドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である第1の窒化ガリウム系化合物半導体層3と、該第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上に積層されたノンドープ、又はSiドーピング濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層4と、を備える窒化ガリウム系化合物半導体基板である。

【0019】前記Si原料にはシラン系化合物を用い、これらのシラン系化合物は $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiH}_3\text{Cl}$ 、 $\text{SiCl}_4$ から成る群から選ばれる少なくとも1つである。

【0020】前記第1の窒化ガリウム系化合物半導体、及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体は一般式を $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ 、 $0 \leq Y < 1$ 、 $0 \leq X+Y < 1$ ) とする。

#### 【0021】効果1

本実施形態における発明は、Siドープを窒化ガリウム系化合物半導体の成長と同時に行うものであり、2段階成長することで表面を平坦化し広範囲に低欠陥領域を有する窒化ガリウム系化合物半導体基板を作製することができる。このような平坦化ができるのは、結晶の自然な横方向成長する作用によるものである。また、本実施形態に示す窒化ガリウム系化合物半導体基板において、転位の低減方法としては、ファセットを埋め込まずに転位を低減させるのではなく、ファセットを埋め込みながら成長させ、転位を低減せるものである。以上より、表面研磨等による平坦化をする必要もなく、効率よく窒化ガリウム系化合物半導体基板を形成することができる。

#### 【0022】効果2

本発明は、基板を除去することで、低抵抗のn型単体基板を形成することができる。これは、転位の低減過程において、窒化ガリウム系化合物半導体層内に連続的にSiをドーピングするため、低抵抗のn型半導体層を形成することができるためである。このため、対極に電極を形成した構造とすることで、チップ面積の節減に有利である。また、サファイア基板等異種基板がないため、チップの分離にダイシング工程が必要でなくなりコストの低減にもつながる。また、窒化ガリウム系化合物半導体から成る単体基板は劈開性を有し、半導体レーザを形成する場合には、劈開面を共振器ミラーとすることができる好ましい。また、基板を除去することにより、放熱性も向上するため長寿命化が期待できる。

【0023】以下に、本発明の一実施形態における窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造工程を示すが、これに限定されるものでない。

【0024】本発明において、基板とは窒化物半導体層をエピタキシャル成長させることができる単結晶基板であればよく、基板の大きさや厚さ等は特に限定されない。この基板の具体例としては、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とし、好ましくはC軸配向の窒化物半導体層を成長させるサファイア、スピネル、炭化珪素(6H、4H、3C)、シリコン、ZnS、ZnO、SiO<sub>2</sub>、GaAs、GaP、ダイヤモンド、NdGaO<sub>3</sub>、その他に窒化物半導体等が挙げられる。窒化ガリウム系化合物半導体層を積層後、サファイア等の基板を除去してもよい。これらの基板は表面が平坦なものを使用するが、窒化ガリウム系化合物半導体層をエピタキシャル成長することができれば、特に限定しない。例えば基板の裏面にエッチング加工等をすることにより細かい荒れを形成する。この荒れにより基板除去を簡単にすることができる。また、反りを緩和するために基板に凹凸、斜面、階段形状、その他にはエアブリッジ構造を有するものであってもよい。

#### 【0025】下地層2

20 前記基板上に800°C以下の低温でバッファー層として $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ 、 $0 \leq Y < 1$ 、 $0 \leq X+Y < 1$ ) 層を介して第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長させる。これは、基板と窒化ガリウム系化合物半導体との格子定数不整合を緩和することで欠陥や割れを抑制するためである。ここで、低温とは700°C以下、好ましくは450°C~650°Cの温度範囲である。この範囲内の温度でバッファー層を成長すれば、微細な核を均一性よく形成することができ好ましい。800°C以上でバッファー層を成長させれば、均一な核生成が阻害され、その後、結晶が多結晶化するため結晶性を低下させてしまう。膜厚は10オングストローム以上0.5μm以下で成長させる。さらに、下地層はバッファー層のみならず、2層構造としてもよい。これは、バッファー層(第1の下地層)上に第2の下地層を950°C以上の高温で成長させることにより、表面が鏡面であり平坦化した下地層とするためである。これにより、後工程で成長させる窒化ガリウム系化合物半導体におけるピットの発生が抑制できる。また、この下地層は基板によっては省略することもできる。

#### 【0026】窒化ガリウム系化合物半導体

次に、前記基板1上に下地層2を形成後、第1の窒化ガリウム系化合物半導体及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長させる。この窒化ガリウム系化合物半導体は一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ 、 $0 \leq Y < 1$ 、 $0 \leq X+Y < 1$ ) で表すことができる。しかし、これらは互いに異なる組成であってもよい。また、Siの他には、ドーパントとしてOまたはGeやSn及びS等も用いることができ、これらにp型不純物をドープさせた窒化ガリウム系化合物半導体としてもよい。p型不純物はMg、Be、Cr、Mn、Ca、Zn等が挙

げられる。

【0027】また、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚は5μm以上とする。好ましくは15μm以上とする。これは、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚が5μm以下であれば、貫通転位を広範囲に屈曲させることができないからである。この膜厚で第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させることにより、第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を成長後に貫通転位の伸びる方向を屈曲させることができる。次に前記第1の窒化ガリウム系化合物半導体層上に成長させる第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を膜厚5μm以上、好ましくは15μm以上成長させれば、第2の窒化ガリウム系化合物半導体層の成長時に貫通転位どうしでループを形成させることで貫通転位を低減させることができる。

【0028】窒化ガリウム系化合物半導体基板の製造方法として、基板上に下地層を介してハロゲン輸送法による気相エピタキシャル成長(HVPE)法により第1の窒化ガリウム系化合物半導体と、第2の窒化ガリウム系化合物半導体とを成長させる方法を以下に示す。ハライド気相エピタキシャル成長法は、短時間で厚膜を成長させることができるために、窒化物半導体の厚膜成長や、異種基板を剥離した窒化物半導体の単体基板の形成に有効である。以下に本発明で用いた成長手法、成長工程、及び成長条件を示す。

【0029】本発明における、1気相成長手段としてII族元素のハロゲン化物とV族元素を含む化合物(本発明では窒素を含む化合物)とを反応させ、基板上に気相成長を行うハロゲン輸送法による気相成長(halogen-transport vapor phase epitaxy: HVPE)法があげられる。

【0030】ハロゲンガスとしてはHCl等があり、キャリアガスと共にハロゲンガス管より導入される。このハロゲンガスとGa等の金属が反応することにより3族元素のハロゲン化物を生成させ、さらに、N源供給管より流入したアンモニアガスとが反応することにより窒化ガリウム系化合物半導体を基板上に成長させる。HVPE法において、還元ガス(例えば水素)を含む雰囲気では、反応管全体が抵抗加熱で熱せられているためにドーパントガスであるシラン系ガスは分解して、基板領域に到達する前に分解し、実効的なSiのドーピングは困難である。そのため、ドーパントガスとHClとを同時に導入することにより、シラン系ガスの分解を抑制して効率よくドープが可能である。

【0031】第1の窒化ガリウム系化合物半導体の成長条件としては、成長速度が5μm/hour以上であればよい。また、第1の窒化ガリウム系化合物半導体、及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体は成長速度を同じ速度とすることができる。そのため、成長速度が異なることにより生ずる結晶性の差異により界面に発生する歪

みが、緩和できる。ここで、第1の窒化ガリウム系化合物半導体は、好ましくは常圧又は微減圧で成長させる。

【0032】次に第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長後、この上に第2の窒化ガリウム系化合物半導体を以下の条件で成長させる。

【0033】第2の窒化ガリウム系化合物半導体は第1の窒化ガリウム系化合物半導体と同温、又はそれ以上の温度で成長させるのが好ましく、基板温度を900℃以上とする。ただし、第1の窒化ガリウム系化合物半導体と第2の窒化ガリウム系化合物半導体との温度差が大きければ成長層界面に残留熱歪みが発生するため温度差が少ない方が好ましい。また、第2の窒化ガリウム系化合物半導体の膜厚としては、最上面が鏡面になれば特に限定されず15μm以上であればよい。そのため、第2の窒化ガリウム系化合物半導体は膜厚を15μm程度の成長が可能な気相成長法であればMOCVD法や他の気相成長法でも行うことができる。さらに、結晶の核密度の均一性や配向特性、及び大きさ、層の厚みの制御にはMOCVD法を用いるのが好ましい。

10

【0034】上記の成長方法により得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板は、最上面が平坦であり、且つ鏡面となる低欠陥部分を広範囲で有する窒化ガリウム系化合物半導体基板となる。なお、本発明により得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板上に形成する素子は窒化ガリウム系化合物半導体を用いたものであれば発光素子や受光素子、又は電子デバイスでもよい。また、図3には本実施形態における発光素子として同一面上に電極を形成した半導体レーザ素子を示す。図4には電極を対極構造として形成した半導体レーザ素子を示す。

30

【0035】以上より得られる窒化ガリウム系化合物半導体基板は貫通転位密度が $1 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 以下である第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を有するものとする。

### 【0036】

【実施例】以下、本発明における実施例を説明する。

【実施例1】まず、基板1としてC面を主面とするサファイア基板を用い、MOCVD装置にセットし、温度1050℃で10分間のサーマルクリーニングを行い水分や表面の付着物を除去した。

40

【0037】次に、下地層を2層構造で成長させた。まず、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとトリメチルガリウムを用い、GaNより成るバッファー層を200オングストロームの膜厚で成長させた。次に、バッファー層上にGaNから成り平坦性を有する層を成長温度1050℃において膜厚3μmで形成した。本実施例では、成長時のキャリアガスとして水素を20.5L/min、原料ガスとしてアンモニアを5L/min、トリメチルガリウムを25cc/min、流した。

50

【0038】基板上に下地層を成長後、第1の窒化ガリ

ウム系化合物半導体、及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長させるためにHVPE装置にセットする。

【0039】まず、Ga源として、Gaメタルをポートに用意し、キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いてハロゲンガスであるHClガスを流すことによりGaClを生成する。キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いてN源であるアンモニアガスを流すことによりGaClとアンモニアガスとを反応させ基板領域にGaNを形成する。また、キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いてSiCl<sub>4</sub>を流することでドーピングを行い、SiドープGaNよりなる第1の窒化ガリウム系化合物半導体を基板上に成長させる。基板領域の温度は電気炉で1030℃に設定した。第1の窒化ガリウム系化合物半導体の成長速度を50μm/hourとして、GaCl分圧は1.25×10<sup>-3</sup>atm、NH<sub>3</sub>分圧は0.375atmとした。SiCl<sub>4</sub>分圧は2.87×10<sup>-7</sup>atmとした。この第1の窒化ガリウム系化合物半導体は膜厚50μmで成長させた。

【0040】次に、第1の窒化ガリウム系化合物半導体上に、第2の窒化ガリウム系化合物半導体をハロゲン輸送法による気相エピタキシャル成長法装置において成長させた。この時の成長条件としては、SiCl<sub>4</sub>分圧を1.0×10<sup>-8</sup>atmとした以外は成長条件を第1の窒化ガリウム系化合物半導体と同様にして、第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長速度50μm/hourで膜厚は100μmで成長させた。

【0041】以上により得られた第2の窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面は平坦かつ鏡面となり、SIMS分析ではSi濃度は第1の窒化ガリウム系化合物半導体層は2×10<sup>19</sup>/cm<sup>2</sup>であり、第2の窒化ガリウム系化合物半導体層は2×10<sup>18</sup>/cm<sup>2</sup>であった。また、図2に示すようにCL観察によると貫通転位密度は2×10<sup>7</sup>cm<sup>-2</sup>程度であり、低欠陥である窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することができる。

【0042】【実施例2】上記実施例1で得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板上に第3の窒化ガリウム系化合物半導体層、第4の窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させる。この第3の窒化ガリウム系化合物半導体層は第1の窒化ガリウム系化合物半導体層と成長条件を同じとし、また第4の窒化ガリウム系化合物半導体層は第2の窒化ガリウム系化合物半導体層と成長条件を同様とする。

【0043】以上より得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板は厚膜成長した低転位の基板となるため、異種基板を除去した単体基板とすることができます。

【0044】【実施例3】実施例1により得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板より、研削によりサファイア基板を除去し、GaNの単体基板とする。この単体基板上にレーザ素子を形成する。

【0045】(n型コンタクト層102)まず、GaN

の単体基板をMOCVD装置の反応容器にセットしTMG、TMA、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用い、1050℃でSiドープしたAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型コンタクト層102を4μmの膜厚で成長させる。

【0046】(クラック防止層103)次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を900℃にしてIn<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nよりなるクラック防止層103を0.15μmの膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

【0047】(n型クラッド層104)次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NよりなるA層を25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNよりなるB層を25Åの膜厚で成長させる。この操作を200回繰り返しA層とB層との積層構造とし、総膜厚1μmの多層膜(超格子構造)よりなるn型クラッド層を成長させる。

【0048】(n型ガイド層105)次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層105を0.15μmの膜厚で成長させる。このn型ガイド層105は、n型不純物をドープしてもよい。

【0049】(活性層106)次に、温度を900℃にし、原料ガスにTMI(トリメチルインジウム)、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる障壁層を140Åの膜厚、シランガスを止め、アンドープのIn<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nよりなる井戸層を40Åの膜厚で、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層の順に積層し、最後に障壁層として、TMI、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nを成長させる。活性層106は、総膜厚500Åの多重量子井戸構造(MQW)となる。

【0050】(p型電子閉じ込め層107)次に、活性層と同じ温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp型電子閉じ込め層107を100Åの膜厚で成長させる。

【0051】(p型ガイド層108)次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型ガイド層108を0.15μmの膜厚で成長させる。このp型ガイド層は、p型不純物をドープしてもよい。

【0052】(p型クラッド層109)次に、1050℃でアンドープAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NよりなるA

層を25Åの膜厚で成長させ、続いてTMAを止め、Cp<sub>2</sub>Mgを用いて、MgドープGaNよりなるB層を25Åの膜厚で成長させ、それを90回繰り返して総膜厚0.45μmの超格子層よりなるp型クラッド層109を成長させる。p型クラッド層は、GaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。p型クラッド層109を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、さらにバンドギャップエネルギーが大きくなるので、しきい値を低下させる上で非常に有効である。

【0053】(p型コンタクト層110)最後に、1050℃で、p型クラッド層109の上に、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたp型GaNよりなるp型コンタクト層110を150Åの膜厚で成長させる。反応終了後、反応容器内において、ウェハーを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0054】アニーリング後、窒化物半導体レーザ素子を積層させたGaNから成る単体基板を反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッティング)を用いてCF<sub>4</sub>ガスによりエッティングすることにより、ストライプ状の導波路領域としてリッジストライプを形成する。

【0055】次にリッジストライプ形成後、Zr酸化物(主としてZrO<sub>2</sub>)よりなる絶縁保護膜を、エッティングにより露出したp型ガイド層108上に0.5μmの膜厚で形成する。

【0056】p型コンタクト層上にp型電極をNiとAuより形成する。ここで、p型電極の膜厚としてはNiを100Å、Auを1300Åとする。また、p型電極と対極するように裏面となる第1の窒化ガリウム系化合物半導体層にはTiとAlよりn型電極を形成する。Tiは200Å、Alを8000Åの膜厚とする。このp型電極は、リッジ上にストライプ形成されており、同じくストライプ形成されているn型電極とは対極であり平行な方向で形成する。次に、p型電極、n型電極上にそれぞれパッド電極を形成する。p型電極上にはp型パッド電極としてRhO(酸化ロジウム)/Pt/Auを(3000Å-1500Å-6000Å)の膜厚で形成する。また、n型電極上にはn型パッド電極としてNi/Ti/Auを(1000Å-1000Å-8000Å)の膜厚で形成する。

【0057】電極形成後、n型電極側をスクライプして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を共振器ミラーとして成膜する。その後、リッジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。

【0058】以上のようにして得られたレーザ素子は、

室温においてしきい値2.8kA/cm<sup>2</sup>、5~60mWの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得られる。得られるレーザ素子の素子寿命は、1000~3000時間示す。

【0059】[実施例4]実施例1により得られた窒化ガリウム系化合物半導体基板より、研削によりサファイア基板を除去し、GaNの単体基板とする。この単体基板上の同一面上にn型電極とp型電極とを形成したレーザ素子を作成する。

【0060】まず、GaN基板をMOCVD装置の反応容器内にセットし、1050℃で窒化物半導体に、TMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニアを用い、Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるアンドープn型コンタクト層101を1μmの膜厚で成長させる。この層は、GaNからなる窒化物半導体基板とn型コンタクト層をはじめとする半導体素子との間で、緩衝層としての機能を有する。ただし、このアンドープn型コンタクト層は省略することもできる。

【0061】次に、アンドープn型コンタクト層を成長後に実施例3と同様の条件でさらにn型コンタクト層102/クラック防止層103/n型クラッド層104/n型ガイド層105/活性層106/p型電子閉じ込め層107/p型ガイド層108/p型クラッド層109/p型コンタクト層110を成長させる。

【0062】その後、リッジ幅1.7μmでリッジストライプ形成する。次に、n型コンタクト層をエッティングにより露出する。その後、Zr酸化物(主としてZrO<sub>2</sub>)よりなる絶縁保護膜を、エッティングにより露出したp型ガイド層108上に膜厚を0.5μm以下で形成する。その後、ストライプ形状に露出したp型コンタクト層上にp型電極をNiとAuより形成する。ここで、p型電極の膜厚としてはNi(100Å)、Au(1300Å)とする。また、p型電極を形成した後に前記露出したn型コンタクト層上にn型電極を形成する。このn型電極はTi/Alを膜厚(200Å-8000Å)でp型電極と同一面上に平行に形成する。さらに、p型電極、n型電極上にそれぞれパッド電極を形成する。p型電極上にはp型パッド電極としてRhO(酸化ロジウム)/Pt/Auを(3000Å-1500Å-6000Å)の膜厚で形成する。また、n型電極上にはn型パッド電極としてNi/Ti/Auを(1000Å-1000Å-8000Å)の膜厚で形成する。

【0063】電極形成後、基板の裏面側をスクライプして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を共振器ミラーとして成膜する。その後、リッジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。

【0064】以上のようにして得られたレーザ素子は、室温においてしきい値2.8kA/cm<sup>2</sup>、5~60mW

Wの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得られる。得られるレーザ素子の素子寿命は、1000～30000時間となる。

【0065】[実施例5] 実施例1により得られたサファイア付きの窒化ガリウム系化合物半導体基板上にレーザ素子を形成する。まず、前記基板上にアンドープn型コンタクト層101を成長させる。基板をMOCVD装置の反応容器内にセットし、1050℃で窒化物半導体に、TMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニアを用い、Al<sub>0.05</sub>G<sub>0.95</sub>Nよりなるアンドープn型コンタクト層101を1μmの膜厚で成長させる。この層は、GaNからなる窒化物半導体基板とn型コンタクト層をはじめとする半導体素子との間で、緩衝層としての機能を有する。

【0066】次に実施例3と同様の条件で以下の順に素子形成を行う。アンドープn型コンタクト層を成長させた基板上にn型コンタクト層102/クラック防止層103/n型クラッド層104/n型ガイド層105/活性層106/p型電子閉じ込め層107/p型ガイド層108/p型クラッド層109/p型コンタクト層110の順で成長させる。

【0067】その後、リッジ幅1.7μmでリッジストライプ形成する。次に、n型コンタクト層をエッティングにより露出する。その後、Zr酸化物(主としてZrO<sub>2</sub>)よりなる絶縁保護膜を、エッティングにより露出したp型ガイド層108上に膜厚を0.5μm以下で形成する。その後、ストライプ形状に露出したp型コンタクト層上にp型電極をNiとAuより形成する。ここで、p型電極の膜厚としてはNi(100Å)、Au(1300Å)とする。また、p型電極を形成した後に前記露出したn型コンタクト層上にn型電極を形成する。このn型電極はTi/Alを膜厚(200Å-8000Å)でp型電極と同一面上に平行に形成する。さらに、p型電極、n型電極上にそれぞれパッド電極を形成する。p型電極上にはp型パッド電極としてRhO(酸化ロジウム)/Pt/Auを(3000Å-1500Å-6000Å)の膜厚で形成する。また、n型電極上にはn型パッド電極としてNi/Ti/Auを(1000Å-1000Å-8000Å)の膜厚で形成する。

【0068】電極形成後、基板の裏面側をダイシングして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を共振器ミラーとして成膜する。その後、リッジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。以上より得られたレーザ素子の素子寿命は、500～10000時間となる。

【0069】[実施例6] 実施例1により得られたサファイア付きの窒化ガリウム系化合物半導体基板上にレーザ素子を形成する。まず、前記基板上にアンドープn型コンタクト層101を成長させる。基板をMOCVD装

置の反応容器内にセットし、1050℃で窒化物半導体に、TMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニアを用い、Al<sub>0.05</sub>G<sub>0.95</sub>Nよりなるアンドープn型コンタクト層101を1μmの膜厚で成長させる。この層は、GaNからなる窒化物半導体基板とn型コンタクト層をはじめとする半導体素子との間で、緩衝層としての機能を有する。

【0070】前期アンドープn型コンタクト層101を成長させた基板上に、実施例3と同条件でn型コンタクト層102/クラック防止層103/n型クラッド層104/n型ガイド層105/活性層106/p型電子閉じ込め層107/p型ガイド層108/p型クラッド層109/p型コンタクト層110の順で半導体素子を成長させる。

【0071】次に、研削によりサファイア基板を除去し、さらに、リッジ幅1.7μmでリッジストライプ形成する。次に、n型コンタクト層をエッティングにより露出する。その後、Zr酸化物(主としてZrO<sub>2</sub>)よりなる絶縁保護膜を、エッティングにより露出したp型ガイド層108上に膜厚を0.5μm以下で形成する。その後、ストライプ形状に露出したp型コンタクト層上にp型電極をNiとAuより形成する。ここで、p型電極の膜厚としてはNi(100Å)、Au(1300Å)とする。また、p型電極を形成した後に前記露出したn型コンタクト層上にn型電極を形成する。このn型電極はTi/Alを膜厚(200Å-8000Å)でp型電極と同一面上に平行に形成する。さらに、p型電極、n型電極上にそれぞれパッド電極を形成する。p型電極上にはp型パッド電極としてRhO(酸化ロジウム)/Pt/Auを(3000Å-1500Å-6000Å)の膜厚で形成する。また、n型電極上にはn型パッド電極としてNi/Ti/Auを(1000Å-1000Å-8000Å)の膜厚で形成する。

【0072】電極形成後、基板の裏面側をスクライプして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を共振器ミラーとして成膜する。その後、リッジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。以上より得られたレーザ素子の素子寿命は、1000～30000時間となる。

【0073】[実施例7] 上記実施例3～6において、n型電極をTi/Al(200Å-8000Å)、p型電極をNi/Au(100Å-1500Å)、n型パッド電極とp型パッド電極とをNi/Ti/Au(1000Å-1000Å-8000Å)とする以外は同条件でレーザ素子を形成する。ここで得られるレーザ素子の寿命特性は500～10000時間となる。

【0074】[実施例8] C面を正面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板を基板1に用い、基板1上にCVD法によりSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を0.5μm

の膜厚で成膜し、ストライプ状のフォトマスクを形成し、エッチングによりストライプ幅 $14\mu\text{m}$ 、窓部 $6\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成する。なお、この保護膜のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。

【0075】次に、MOCVD法により、温度を $510^\circ\text{C}$ 、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、保護膜の開口部上に窒化ガリウムよりなるバッファー層を $200\text{ angstrom}$ トロームの膜厚で成長させる。その後、MOCVD法により、減圧条件で温度を $1050^\circ\text{C}$ にして、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、窒化ガリウムよりなる第1の窒化物半導体層を $10\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この時、第1の窒化物半導体は、 $\text{SiO}_2$ より成る保護膜の開口部を成長起点とし、第1の窒化物半導体層の断面形状がT字形状となるように形成する。

【0076】次に、ドライエッティングである等方性エッティングにより、温度 $120^\circ\text{C}$ で、エッティングガスに酸素、 $\text{CF}_4$ を用い、 $\text{SiO}_2$ 保護膜を取り除く。さらに、横方向成長させた第1の窒化物半導体の側面および上面より、常圧でMOCVD法により、温度を $1050^\circ\text{C}$ にし、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、窒化ガリウムよりなる第2の窒化物半導体層を $15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0077】以上より得られた基板上に第1の窒化ガリウム系化合物半導体、及び第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長させるためにHVPE装置にセットする。Ga源として、Gaメタルをポートに用意し、キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いてハロゲンガスである $\text{HC1}$ ガスを流すことにより $\text{GaCl}$ を生成する。キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いてN源であるアンモニアガスを流すことにより $\text{GaCl}$ とアンモニアガスとを反応させ基板領域に $\text{GaN}$ を形成する。また、キャリアガスに窒素、及び/又は水素を用いて $\text{SiCl}_4$ を流すことでドーピングを行い、 $\text{Si}$ ドープ $\text{GaN}$ よりなる第1の窒化ガリウム系化合物半導体を基板上に成長させる。基板領域の温度は電気炉で $1030^\circ\text{C}$ に設定する。第1の窒化ガリウム系化合物半導体の成長速度を $50\mu\text{m/hour}$ として、 $\text{GaCl}$ 分圧は $1.25 \times 10^{-3}\text{ atm}$ 、 $\text{NH}_3$ 分圧は $0.375\text{ atm}$ とする。 $\text{SiCl}_4$ 分圧は $2.87 \times 10^{-7}\text{ atm}$ とする。この第1の窒化ガリウム系化合物半導体は膜厚 $50\mu\text{m}$ で成長させる。

【0078】次に、第1の窒化ガリウム系化合物半導体上に、第2の窒化ガリウム系化合物半導体をハロゲン輸送法による気相エピタキシャル成長法装置において成長させる。この時の成長条件としては、 $\text{SiCl}_4$ 分圧を $1.0 \times 10^{-8}\text{ atm}$ とした以外は成長条件を第1の

窒化ガリウム系化合物半導体と同様にして、第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長速度 $50\mu\text{m/hour}$ で膜厚は $100\mu\text{m}$ で成長させる。

【0079】以上により得られる第2の窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面は平坦かつ鏡面となり、貫通転位密度が $1 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ 以下となる低欠陥な窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することができる。

【0080】【実施例9】上記実施例において、第1の窒化ガリウム系化合物半導体の成長速度を $50\mu\text{m/hour}$ として、第2の窒化ガリウム系化合物半導体を成長速度 $100\mu\text{m/hour}$ で成長させる以外は同条件で窒化ガリウム系化合物半導体基板を形成する。以上により得られる第2の窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面は平坦かつ鏡面となり、貫通転位密度が $1 \times 10^8\text{ cm}^{-2}$ 以下となる低欠陥な窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することができる。

### 【0081】

【発明の効果】以上より本発明では、保護膜等を用いた横方向成長基板ではなく、基板全面の結晶欠陥を減らした低欠陥基板を提供することができる。そのため、EL-O法で得られた基板に比べてデバイス工程を簡略化することができ、量産効率を向上させた窒化ガリウム系化合物半導体基板を提供することが出来る。また、基板を除去することにより窒化物から成る低抵抗の単体基板とすることもできるため、放熱性が向上し窒化物半導体素子の寿命特性をよくすることができる。さらに、対極した電極構造が可能となりチップ面積の節減にも有利となる。

### 【0082】

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示す窒化物半導体の模式断面図である。

【図2】本発明の実施例1におけるCL写真である。

【図3】本発明の一実施の形態における窒化物半導体レーザ素子の模式断面図である。

【図4】本発明の一実施の形態における窒化物半導体レーザ素子の模式断面図である。

#### 【符号の簡単な説明】

1 … 基板

2 … 下地層

3 … 第1の窒化ガリウム系化合物半導体

4 … 第2の窒化ガリウム系化合物半導体

101 … アンドープn型コンタクト層

102 … n型コンタクト層

103 … クラック防止層

104 … n型クラッド層

105 … n型ガイド層

106 … 活性層

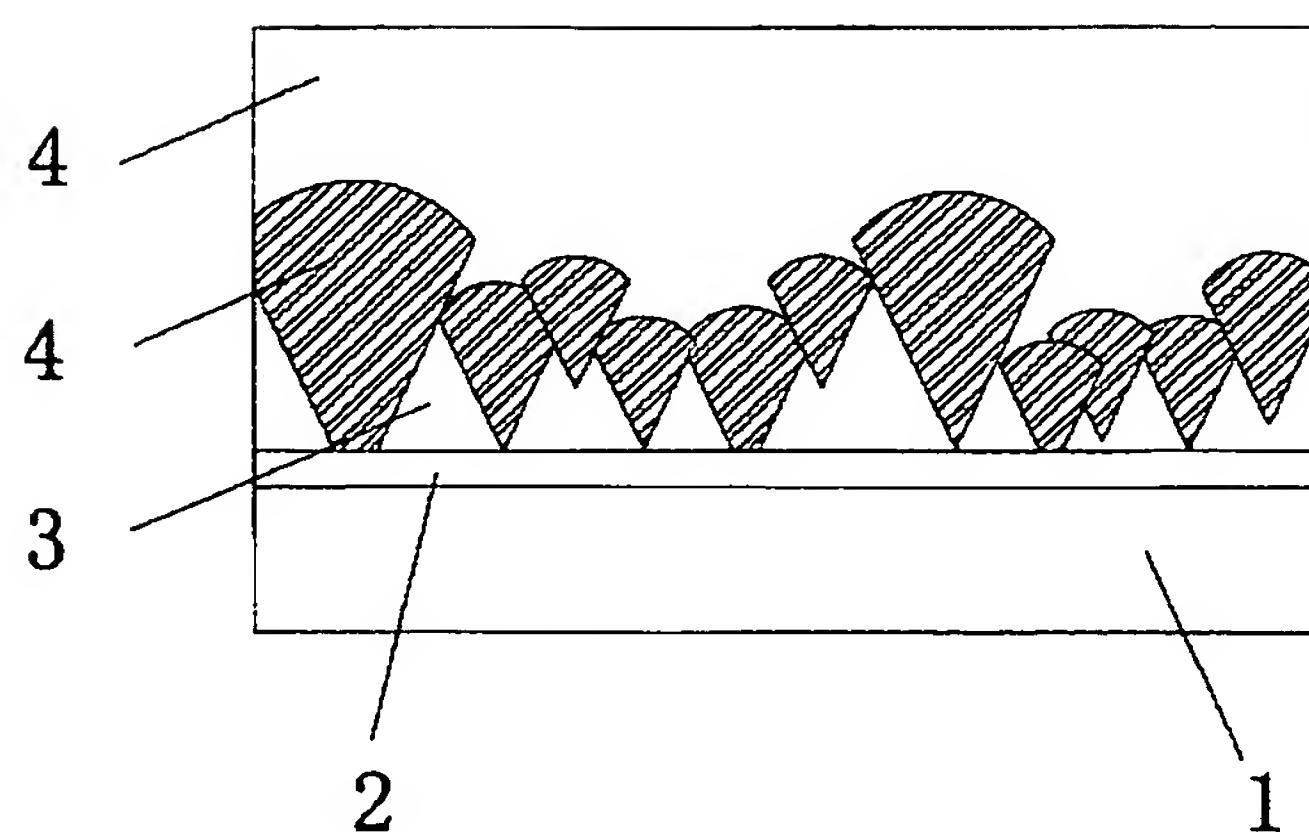
107 … p型電子閉じ込め層

108 … p型ガイド層

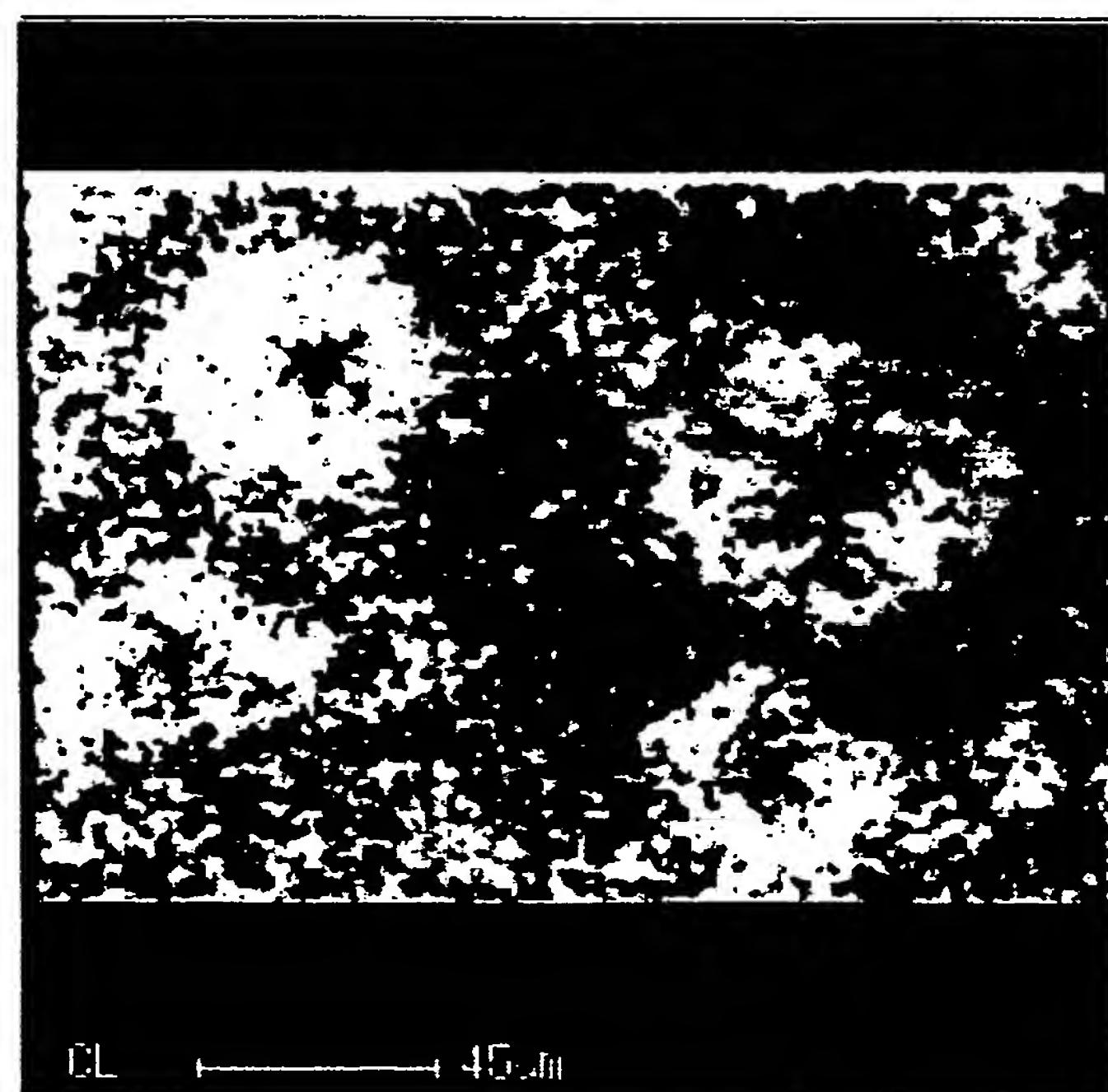
109 ··· p型クラッド層

110 ··· p型コンタクト層

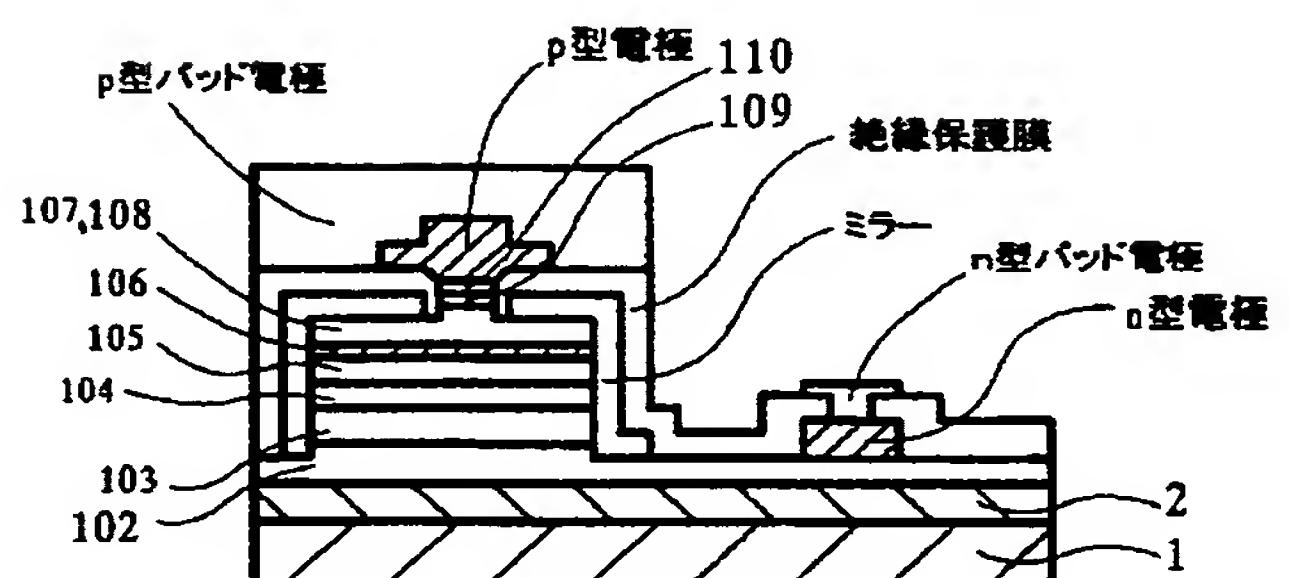
【図1】



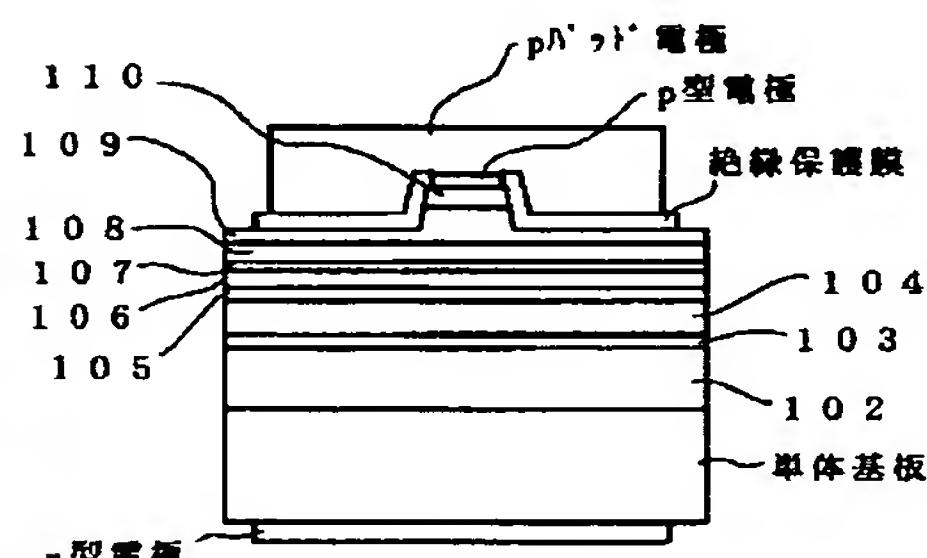
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F045 AA02 AA04 AB14 AB17 AC03  
 AC08 AC12 AC13 AD09 AD14  
 AF09 AF13 BB12 CA12 DA53  
 DA55 DA59 DB01 D008 EB13  
 GH09  
 5F073 AA74 AA83 CA07 CB02 CB05  
 CB19 CB22 DA05 DA16 DA25  
 DA32 DA35 EA28